

Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der
Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem

Gleichwellennetz

AP 20 Rec'd PCT/PTO 22 MAY 2006

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz von mehreren Sendern in einem Gleichwellennetz.

Der terrestrische digitale Hör- und TV-Rundfunk (DAB und
10 DVB-T) wird mittels digitalen Mehrträgerverfahren (z. B. OFDM = orthogonal frequency division multiplexing) über ein Netz von Sendern übertragen, die phasen- und frequenz-synchron über ein Gleichwellennetz im Sendegebiet ausstrahlen.

15

Zur effizienten Nutzung der vorhandenen Frequenzressourcen strahlen alle Sender eines Gleichwellennetzes zeitgleich ein identisches Sendesignal aus. Neben der Phasensynchronität muß in einem Gleichwellennetz deshalb auch die
20 Identität der auszustrahlenden Trägerfrequenz bei den einzelnen Sendern gewährleistet sein.

In der DE 199 37 457 A1 wird ein Verfahren zur Überwachung der Phasensynchronität der einzelnen Sender eines Gleichwellennetzes vorgestellt. Eine auftretende Phasenasynchronität zweier Sender wird über eine Laufzeitdifferenzmessung durch Ermittlung der Kanalimpulsantworten der beiden Sender erfasst. Liegt eine Abweichung zwischen der gemessenen Laufzeitdifferenz der beiden Sender und einer
25 Referenzlaufzeitdifferenz für den synchronen Betriebsfall der beiden Sender in größerem Umfang vor, so strahlen die beiden Sender asynchron aus. Diese Abweichung der Laufzeitdifferenz wird von einer Empfangsstation im Sendegebiet des Gleichwellennetzes durch Auswertung der
30 Kanalimpulsantworten ermittelt und den beiden phasenasynchronen Sendern für eine nachträgliche Synchronisierung übermittelt. Ein Verfahren zur Überwachung identischer Trägerfrequenzen bei zwei Sendern in einem

Gleichwellennetz kann der DE 199 37 457 A1 nicht entnommen werden.

Die Synchronisierung von Sendern in einem Gleichwellennetz
5 hinsichtlich identischer Trägerfrequenz ist in der DE 43
41 211 C1 beschrieben. Hierbei überträgt eine Zentrale den
einzelnen Sendern des Gleichwellennetzes neben den Über-
tragungsdaten auch ein Frequenzreferenzsymbol. Dieses
Frequenzreferenzsymbol wird von jedem Sender des Gleich-
10 wellennetzes ausgewertet und für eine Synchronisierung der
Trägerfrequenz an die Frequenzreferenz herangezogen.

Nachteilig an diesem Verfahren ist die Tatsache, dass die
Auswertung der Synchronität der Trägerfrequenz von jedem
15 Sender einzeln durchgeführt wird. Diese senderspezifische
Auswertung der Frequenzsynchronität der Trägerfrequenz
kann folglich mit einem gewissen senderspezifischen
Vermessungs- und Auswertungsfehler behaftet sein, der zu
einer uneinheitlichen Überwachung der Trägerfrequenz aller
20 im Gleichwellennetz beteiligten Sender führen kann.
Hinzukommt, dass die Überwachung der Trägerfrequenz bei
jedem einzelnen Sender eine Synchronisierung der einzelnen
Sender mittels einer Zeit-Referenz erforderlich macht, die
vom einzelnen Sender beispielsweise über GPS empfangen
25 wird. Schließlich findet die Frequenzsynchronisierung in
der Schaltungsanordnung der DE 43 41 211 C1 vor der
Modulation statt, so dass eine nachträgliche Frequenz-
verschiebung der Trägerfrequenz durch nachfolgende Funk-
tionseinheiten des Senders nicht ausgeschlossen ist. Alle
30 diese Schwachpunkte können zu einem unerwünschten Empfang
unterschiedlicher Trägerfrequenzen der einzelnen Sender in
einem an einem beliebigen Ort im Sendegebiet des Gleich-
wellennetzes positionierten Empfänger führen.

35 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein
Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung der
Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleich-
wellennetz anzugeben, bei dem die Synchronität der
Trägerfrequenzen der einzelnen Sender einheitlich durch

eine einzige Meßanordnung, die an einer beliebigen Stelle im Sendegebiet des Gleichwellennetzes positioniert sein kann, ohne Synchronisierung der Meßanordnung mittels einer Zeit-Referenz überwacht wird.

5

Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 12
10 oder 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Die Überwachung der Trägerfrequenzstabilität der zu einem Gleichwellennetz gehörigen Sender erfolgt über eine
15 einzige Empfangseinrichtung, die im Sendegebiet des Gleichwellennetzes an einem beliebigen Ort positioniert ist. Die Empfangseinrichtung ermittelt aus der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals vorzugsweise mittels der inversen komplexen Fourier-Transformation den
20 Verlauf der Summenimpulsantwort sämtlicher Sender zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Die zum jeweiligen Sender gehörigen Impulsantworten werden aus den beiden Summenimpulsantworten ausgeblendet, nachdem deren Phasenlage zur Phasenlage der beiden Impulsantworten eines
25 Bezugssenders des Gleichwellennetzes in Relation gesetzt wurden. Anschließend werden die Phasenverläufe der beiden zum jeweiligen Sender gehörigen Impulsantworten ermittelt, aus denen wiederum für jeden Sender die Phasenverschiebungsdifferenz der Impulsantwort des jeweiligen
30 Senders zur Phasenlage der Impulsantwort des Bezugssenders zwischen zwei Beobachtungszeitpunkten abgeleitet wird. Aus dem Verlauf der Phasenverschiebungsdifferenz kann, wie weiter unten noch im Detail gezeigt wird, die Trägerfrequenzverschiebung jedes Senders zur Träger-
35 frequenz eines Bezugssenders des Gleichwellennetzes berechnet werden.

Zur eindeutigen Identifizierung einer dauerhaften Trägerfrequenzverschiebung bei einem Sender des Gleichwellen-

- netzes werden die Summenimpulsantworten sämtlicher Sender aus der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals durch Anwendung der inversen komplexen Fourier-Transformation zu mehreren verschiedenen Zeitpunkten wiederholt durchgeführt und darauf aufbauend die Trägerfrequenzverschiebung jedes Senders zur Trägerfrequenz eines Bezugssenders des Gleichwellennetzes wiederholt berechnet und einer anschließenden Mittelung zugeführt.
- 10 Sinkt die Phasenverschiebungsdifferenz eines Senders zwischen zwei Zeitpunkten auf einen Wert kleiner $-\pi$ bzw. übersteigt die Phasenverschiebungsdifferenz eines Senders zwischen zwei Zeitpunkten auf einen Wert größer $+\pi$, so wird der Wert der Phasenverschiebungsdifferenz des
- 15 jeweiligen Senders zwischen zwei Zeitpunkten in diesem Zeitabschnitt um den Wert $+2\pi$ erhöht bzw. um 2π reduziert. Auf diese Weise wird die Phasenverschiebungsdifferenz auf Werte zwischen $-\pi$ und $+\pi$ begrenzt.
- 20 Die Gewinnung der Impulsantwort jedes Senders des Gleichwellennetzes erfolgt durch Ermittlung der Koeffizienten der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals aus den Koeffizienten des an den Übertragungskanal angepaßten Entzerrers in der Empfangseinrichtung und anschließende
- 25 Berechnung der inversen Fourier-Transformation. Beim digitalen terrestrischen TV-Rundfunk (DVB-T) kann die Impulsantwort für jeden Sender alternativ aus der inversen Fourier-Transformation der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals durch Auswertung der zu den verstreuten
- 30 Pilotträgern gehörigen OFDM-modulierten Übertragungssignale abgeleitet werden.

Zwei Ausführungsformen der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachfolgend näher beschrieben. Es

35 zeigen:

Fig. 1 eine funktionale Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Überwachung der

Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz;

- 5
Fig. 2 ein Beispiel für eine grafische Darstellung der zeitdiskreten Summenimpulsantwort;
- 10
Fig. 3 ein Beispiel für eine grafische Darstellung für eine Verlaufsänderung der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals;
- 15
Fig. 4A ein Flußdiagramm zur Erläuterung der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz;
- 20
Fig. 4B ein Flußdiagramm zur Erläuterung der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz;
- 25
Fig. 5A eine beispielhafte Ergebnisdarstellung der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz;
- 30
Fig. 5B eine beispielhafte Ergebnisdarstellung der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz;
- 35
Fig. 6A eine beispielhafte dreidimensionale grafische Darstellung der Amplituden- und Trägerfrequenzabweichung und
- Fig. 6B eine beispielhafte zweidimensionale grafische Darstellung der Amplituden- und Trägerfrequenzabweichung.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz wird in seinen beiden Ausführungsformen
 5 nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 1 bis Fig. 5 beschrieben.

Die in einem Gleichwellennetz positionierten Sender $S_0, \dots, S_i, \dots, S_n$, beispielsweise gemäß Fig. 1 die Sender S_1 ,
 10 S_2 , S_3 , S_4 und S_5 , strahlen z.B. im Rahmen des digitalen Hör- und TV-Rundfunks jeweils ein identisches phasen- und frequenzsynchrones Signal $s(t)$ aus. Eine Empfangseinrichtung E, die im Sendegebiet des Gleichwellennetzes positioniert ist, empfängt ein Empfangssignal $e(t)$ als
 15 Überlagerung sämtlicher zu den einzelnen Sendern $S_0, \dots, S_i, \dots, S_n$ gehörigen Empfangssignale $e_i(t)$. Dieses überlagerte Empfangssignal $e(t)$ weist gemäß Gleichung (1) folgenden Zeitverlauf auf:

$$20 \quad e(t) = \sum_{i=0}^n e_i(t) = s(t) + \sum_{i=1}^n v_i * e^{j\Delta\omega_i t} * s(t - \tau_i) \quad (1)$$

Im Rahmen der folgenden Betrachtungen wird beispielsweise der Sender S_0 zum Bezugssender des Gleichwellennetzes definiert. Die Dämpfungs- und Phasenverzerrungen sowie die
 25 Laufzeiten, die die Sendesignale $s(t)$ der einzelnen Sender $S_0, \dots, S_i, \dots, S_n$ im Übertragungskanal zur Empfangseinrichtung E erfahren, werden jeweils in Relation zur Dämpfungs- und Phasenverzerrung sowie zur Laufzeit des Bezugssenders S_0 gesetzt. Das in der Empfangseinrichtung E
 30 empfangene Signal $e_0(t)$ des Bezugssenders S_0 in Gleichung (1) entspricht deshalb seinem Sendesignal $s(t)$.

Die Amplitude v_i des Empfangssignals $e_i(t)$ der übrigen Sender S_1 bis S_n ergibt sich gemäß Gleichung (2) aus der
 35 Dämpfungsnormierung als Quotient zwischen der Amplitude des Empfangssignals $e_i(t)$ des jeweiligen Senders S_i zur Amplitude des Empfangssignals $e_0(t)$ des Bezugssenders S_0 :

$$v_i = |e_i / e_0| \quad (2)$$

Die Laufzeitdifferenz τ_i der Sender S_i bis S_n lässt sich gemäß Gleichung (3) aus der Differenz zwischen der Laufzeit t_i des Senders S_i und der Laufzeit t_0 des Bezugssenders S_0 ermitteln:

$$\tau_i = t_i - t_0 \quad (3)$$

Die Laufzeitdifferenzen τ_i der einzelnen Sender S_0 bis S_n beruhen auf folgenden Effekten:

- unterschiedliche Laufzeiten aufgrund unterschiedlicher Wegstrecken zwischen den jeweiligen Sendern S_i und der Empfangseinrichtung E und
- unterschiedliche Phasenverzerrungen der Sendesignale $s(t)$ der jeweiligen Sender S_i in den unterschiedlichen Übertragungsstrecken zur Empfangseinrichtung E.

Eine zusätzliche Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i$ zwischen einem Sender S_i und dem Bezugssender S_0 kann bei der Phasennormierung des Empfangssignals $e(t)$ auftreten, wenn gemäß Gleichung (4) ein Unterschied in der Trägerfrequenz ω_i des jeweiligen Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 auftritt:

$$\begin{aligned} \Delta\Theta_i &= \Theta_i - \Theta_0 = \omega_i * t - \omega_0 * t = (\Delta\omega_i + \omega_0) * t - \omega_0 * t \\ &= \Delta\omega_i * t \end{aligned} \quad (4)$$

Die Trägerfrequenzabweichung $\Delta\omega_i$ des jeweiligen Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 führt gemäß Gleichung (4) zu einer Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t)$ des zum jeweiligen Sender S_i gehörigen Empfangssignals $e_i(t)$

Unter Berücksichtigung der Beziehung in Gleichung (4) wird Gleichung (1) für den Zeitverlauf des Empfangssignals $e(t)$ nach Gleichung (5) übergeführt.

$$e(t) = s(t) + \sum_{i=1}^n v_i * e^{j\Delta\theta_i(t)} * s(t - \tau_i) \quad (5)$$

Setzt man gemäß Gleichung (6) voraus, daß die Zeitdauer Δt_b für die Beobachtung des Empfangssignals $e_i(t)$ wesentlich kleiner ist als die Periodendauern aller Phasenrotationen $\Delta\theta_i(t)$ der Empfangssignale $e_i(t)$ aufgrund einer Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ des jeweiligen Senders S_i , so kann davon ausgegangen werden, dass die Phasenverschiebung $\Delta\theta_i$ des Empfangssignals $e_i(t)$ innerhalb dieses Zeitschlitzes Δt_b näherungsweise konstant ist.

$$\Delta t_b \ll 2\pi / \max\{\Delta\omega_i\} \quad (6)$$

Gleichung (5) für den Zeitverlauf des Empfangssignals $e(t)$ geht für den Zeitbereich des Zeitschlitzes Δt_b in Gleichung (7) über.

$$e(t) = s(t) + \sum_{i=1}^n v_i * e^{j\Delta\theta_i} * s(t - \tau_i) \quad (7)$$

In Fig. 2 ist der Zusammenhang der Normierung des Empfangssignals $e_i(t)$ eines Senders S_i zum Empfangssignal $e_0(t)$ eines Bezugssenders S_0 hinsichtlich der Dämpfung und der Laufzeit dargestellt.

Bei bekannter Übertragungsfunktion des Übertragungskanals des aus den Sendern S_0 bis S_n bestehenden Gleichwellennetzes (single frequency network) kann das Empfangssignal $e(t)$ durch die jeweiligen Impulsantworten $h_{SFNi}(t)$ der Sender $S_0, \dots, S_i, \dots, S_n$ zusammengesetzte Summenimpulsantwort $h_{SFN}(t)$ des Übertragungskanals des Gleichwellennetzes (single frequency network) gemäß der Gleichung

$$h_{SFN}(t) = \sum_{i=0}^n h_{SFNi}(t) = \delta(t) + \sum_{i=1}^n v_i * e^{j\Delta\theta_i} * \delta(t - \tau_i) \quad (8)$$

aufgefaßt werden.

Das Frequenzspektrum $E(\omega)$ des Empfangssignals $e(t)$ in Gleichung (9) ergibt sich aus der Fourier-Transformation des Empfangssignals $h_{\text{SFN}}(t)$ gemäß Gleichung (8) multipliziert mit der Übertragungsfunktion $S(\omega)$ des Übertragungs-

5 kanals des Gleichwellennetzes:

$$E(\omega) = S(\omega) * \left(1 + \sum_{i=1}^n v_i * e^{j\Delta\Theta_i} * e^{-j\omega\tau_i}\right) = S(\omega) * H_{\text{SFN}}(\omega) \quad (9)$$

Der Klammerterm des Frequenzspektrums $E(\omega)$ des Empfangssignals $e(t)$ in Gleichung (9) entspricht der Übertragungsfunktion $H_{\text{SFN}}(\omega)$ des Übertragungskanals des Gleichwellennetzes. Er besteht aus einer Summe von Zeigern, deren Phase sich mit dem Term $-j\omega\tau_i$ ändern und für einen bestimmten Zeitpunkt t eine konstante Phasenverschiebung

10 $\Delta\Theta_i = \Delta\omega_i * t$ aufweisen.

Der Betrag der Übertragungsfunktion $|H_{\text{SFN}}(f)|$ für ein Gleichwellennetz mit einem Bezugssender S_0 und einem zweiten Sender S_1 ist über der Frequenz f in Fig. 3

20 dargestellt. Der Betrag der Übertragungsfunktion $|H_{\text{SFN}}(f)|$ weist einen periodischen Kurvenverlauf mit einer Periodendauer von $1/\tau_1$ auf. Der Verlauf des Betrags der Übertragungsfunktion $|H_{\text{SFN}}(f)|$ verschiebt sich von einem periodischen Kurvenverlauf zum Zeitpunkt $t=t_1$ (durchgezogene Linie) zu einem ebenfalls periodischen Kurvenverlauf gleicher Periodendauer zum späteren Zeitpunkt $t=t_2 > t_1$ (gestrichelte Linie) aufgrund des Einflusses der Phasenverschiebung $\Delta\Theta_1$ des Empfangssignals $e_1(t)$ des Senders S_1 zum Empfangssignal $e_0(t)$ des Bezugssenders S_0 aufgrund

25 einer Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_1$ des Senders S_1 zur Trägerfrequenz ω_0 des Senders S_0 .

Die Geschwindigkeit der Verschiebung des Verlaufs des Betrags der Übertragungsfunktion $|H_{\text{SFN}}(f)|$ wird bestimmt

35 durch die Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_1$ des Senders S_1 zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 . Die benötigte Zeit t_{per} zur Verschiebung des Verlaufs des Betrags der Übertragungsfunktion $|H_{\text{SFN}}(f)|$ um genau eine Periode des

Betragsverlaufs der Übertragungsfunktion $|H_{\text{SFN}}(f)|$ ergibt sich gemäß Gleichung (10) mit Hilfe von Gleichung (4) unter der Annahme einer Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i$ von $2*\pi$ bei einer vollen Rotation der Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i$:

5

$$t_{\text{per}} = 2*\pi / \Delta\omega_i = 1 / \Delta f_i \quad (10)$$

Wird die Übertragungsfunktion $H_{\text{SFN}}(f)$ zu zwei verschiedenen Zeitschlitzten Δt_{B1} und Δt_{B2} betrachtet, so ändert sich gemäß Gleichung (4) die aus einer Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ des Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 resultierende Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i$ in der Übertragungsfunktion $H_{\text{SFN}}(f)$ über der Zeit t zwischen dem Zeitschlitz Δt_{B1} und dem Zeitschlitz Δt_{B2} und damit auch sein Verlauf über der Frequenz f . Analog ändert sich auch der Verlauf der zur Übertragungsfunktion $H_{\text{SFN}}(f)$ korrespondierenden Summenimpulsantwort $h_{\text{SFN}}(t)$ gemäß Gleichung (8).

20 Mit der Änderung des Verlaufs der Summenimpulsantwort $h_{\text{SFN}}(t)$ bei rotierender Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t)$ des Senders S_i vom Zeitschlitz Δt_{B1} zum Zeitschlitz Δt_{B2} ändert sich auch der Verlauf der Impulsantwort $h_{\text{SFNi}}(t)$ des Senders S_i , deren Trägerfrequenz ω_i sich zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 verschoben hat. Die Phasenwinkelverschiebung $\Delta\Theta_i(t)$ der zum Sender S_i gehörigen Impulsantwort $h_{\text{SFNi}}(t)$ vom Zeitpunkt t_{B1} des Zeitschlitzes Δt_{B1} zum Zeitpunkt t_{B2} des Zeitschlitzes Δt_{B2} ist folglich gemäß Gleichung (11) proportional zum Verlauf der Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i(t)$ des Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 .

$$\Delta\Theta_i(t_{\text{B2}}) - \Delta\Theta_i(t_{\text{B1}}) = \Delta\omega_i(t) * (t_{\text{B2}} - t_{\text{B1}}) \quad (11)$$

35 Aus Vereinfachungsgründen wird davon ausgegangen, daß sich die Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i(t)$ zwischen den beiden Beobachtungszeitpunkten t_{B1} und t_{B2} nicht ändert. Gleichung (11) geht unter dieser sinnvollen Voraussetzung über in Gleichung (12).

$$\Delta\Theta_i(t_{B2}) - \Delta\Theta_i(t_{B1}) = \Delta\omega_i * (t_{B2} - t_{B1}) \quad (12)$$

Die erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens
 5 zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern
 in einem Gleichwellennetz ergibt sich folglich gemäß Fig.
 4A aus den nachfolgenden dargestellten Verfahrensschrit-
 ten:

- 10 In Verfahrensschritt S10 wird die Übertragungsfunktion
 $H_{SFN}(f)$ des Übertragungskanals von den einzelnen Sendern
 $S_0, \dots, S_i, \dots, S_n$ des Gleichwellennetzes zur Empfangs-
 einrichtung E ermittelt. Hierzu können der Verlauf der
 Übertragungsfunktion $H_{SFN}(f)$ aus den Koeffizienten des in
 15 der Empfangseinrichtung E integrierten Entzerrers, die bei
 an den Übertragungskanal angepaßtem Entzerrer den
 Koeffizienten der Übertragungsfunktion $H_{SFN}(f)$ entsprechen,
 ermittelt werden.
- 20 In Verfahrensschritt S20 werden aus der Übertragungs-
 funktion $H_{SFN}(f)$ des Übertragungskanals mittels diskreter
 inverser Fourier-Transformation die Verläufe der zugehö-
 rigen komplexen Summenimpulsantworten $\underline{h}_{SFN1}(t)$ und $\underline{h}_{SFN2}(t)$ zu
 den beiden Zeitpunkten t_{B1} des Zeitschlitzes Δt_{B1} und t_{B2} des
 25 Zeitschlitzes Δt_{B2} berechnet. Hierbei handelt es sich um
 zeitdiskrete komplexe Summenimpulsantworten $\underline{h}_{SFN1}(t)$ und
 $\underline{h}_{SFN2}(t)$ zu einzelnen Abtastzeitpunkten t .

Aus den beiden zeitdiskreten Verläufen der komplexen
 30 Summenimpulsantworten $\underline{h}_{SFN1}(t)$ und $\underline{h}_{SFN2}(t)$ werden im
 Verfahrensschritt S30 die zu den im Gleichwellennetz
 beteiligten Sendern S_i jeweils gehörigen Verläufe der
 komplexen Impulsantworten $\underline{h}_{SFN1i}(t)$ und $\underline{h}_{SFN2i}(t)$ zu den
 Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} herausgefiltert.

35

Alternativ zur obig dargestellten Ermittlung der Über-
 tragungsfunktion $H_{SFN}(f)$ des Übertragungskanals aus den
 Koeffizienten des in der Empfangseinrichtung integrierten
 Entzerrers ist beim digitalen terrestrischen TV-Rundfunk

eine Ermittlung der Übertragungsfunktion $H_{SFN}(f)$ des Übertragungskanal aus den DVB-T-Symbolen der verstreuten Trägerpiloten möglich.

- 5 Diese zeitdiskreten Verläufe der Impulsantworten $\underline{h}_{SFN1i}(t)$ und $\underline{h}_{SFN2i}(t)$ des jeweiligen Senders S_i zu den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} sind jeweils komplexe Zahlenfolgen. Aus diesen komplexen Verläufen der Impulsantworten $\underline{h}_{SFN1i}(t)$ und $\underline{h}_{SFN2i}(t)$ werden im Verfahrensschritt S40 die zugehörigen
- 10 zeitdiskreten Phasenverläufe $\arg(\underline{h}_{SFN1i}(t))$ und $\arg(\underline{h}_{SFN2i}(t))$ des jeweiligen Senders S_i zu den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} ermittelt. Alternativ kann zu diesem Zeitpunkt auch noch keine Zuordnung der Impulsantwort zu den Sendern erfolgen und vorerst können nur Gesamt-Impulsantworten $\underline{h}_{SFN1}(t)$ und
- 15 $\underline{h}_{SFN2}(t)$ verrechnet werden.

Durch Subtraktion der zeitdiskreten Phasenverläufe $\arg(\underline{h}_{SFN1i}(t))$ und $\arg(\underline{h}_{SFN2i}(t))$ der Impulsantworten $\underline{h}_{SFN1i}(t)$ und $\underline{h}_{SFN2i}(t)$ des jeweiligen Senders S_i zu den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} erhält man eine Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung des jeweiligen Senders S_i zum Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten t_{B2} und t_{B1} , die über der Zeit konstant ist und der Differenz der Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t_{B2})$ zum Zeitpunkt t_{B2} und der

20 Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t_{B1})$ zum Zeitpunkt t_{B1} des Senders S_i zum Bezugssender S_0 entspricht. Diese wird im Verfahrensschritt S50 gemäß Gleichung (13) resultierend aus Gleichung (8) berechnet:

$$\begin{aligned}
 30 \quad \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) &= \arg(\underline{h}_{SFN2i}(t)) - \arg(\underline{h}_{SFN1i}(t)) \\
 &= \Delta\Theta_i(t_{B2}) - \Delta\Theta_i(t_{B1}) \quad (13)
 \end{aligned}$$

Die Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung des Senders S_i zum Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} kann u.U. Werte kleiner

35 $-\pi$ annehmen, die außerhalb des zulässigen Wertebereiches liegen. Von daher wird im Verfahrensschritt S60 in Zeitbereichen, in denen die Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung des Senders S_i zum

Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} Werte kleiner $-\pi$ annimmt, die Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung gemäß Gleichung (14) um den Wert $2*\pi$ erhöht.

5

$$\begin{aligned} \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) &= \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) + 2*\pi \\ &\text{für } \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) \leq -\pi \end{aligned} \quad (14)$$

Nimmt die Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung des Senders S_i zum Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} Werte größer $+\pi$ an, die außerhalb des zulässigen Wertebereiches liegen, so wird die Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung in Verfahrensschritt S65 gemäß Gleichung (15) um den Wert $2*\pi$ reduziert.

10

15

$$\begin{aligned} \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) &= \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) - 2*\pi \\ &\text{für } \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) > \pi \end{aligned} \quad (15)$$

20

25

Die in den Verfahrensschritten S60 und S65 durchgeführten Begrenzungen der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung des Senders S_i zum Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} gemäß der Gleichungen (13) und (14) gewährleisten einen eindeutigen Phasenwert im Bereich von $-\pi$ bis $+\pi$.

30

In Verfahrensschritt S70 wird gemäß Gleichung (16) der Verlauf der Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ des Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 zwischen den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} resultierend aus Gleichung (12) und (13) aus der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung des Senders S_i zum Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten t_{B1} und t_{B2} berechnet.

35

$$\begin{aligned} \Delta\omega_i &= [\Delta\Theta_i(t_{B2}) - \Delta\Theta_i(t_{B1})] / (t_{B2} - t_{B1}) \\ &= \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) / (t_{B2} - t_{B1}) \end{aligned} \quad (16)$$

Da sich über der Zeit t zur Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t)$ des Empfangssignals $e_i(t)$ des Senders S_i aufgrund einer Träger-

frequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ des Senders S_i zum Bezugssender S_0 , zusätzliche Phasenänderungen, beispielsweise aufgrund von Phasenrauschen, überlagern können, wie dies in Fig. 5A dargestellt ist, ist eine entsprechende Bereinigung der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ der Phasenverschiebung des Senders S_i zum Bezugssender S_0 zwischen zwei Beobachtungszeitpunkten t_{B1} und t_{B2} von derartigen Phasenstörungen durchzuführen. Diese Bereinigung erfolgt in der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von Sendern in einem Gleichwellennetz gemäß Fig. 4B.

Im Unterschied zur ersten Ausführungsform in Fig. 4A werden in der zweiten Ausführungsform in Fig. 4B in Verfahrensschritt S50 die Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(\Delta t_B)$ der Phasenverschiebung des Senders S_i zum Bezugssender S_0 innerhalb eines Zeitintervalls Δt_B nicht nur zwischen den Beobachtungszeitpunkten t_{B1} und t_{B2} ermittelt, sondern zu mehreren anderen Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$, die gemäß Gleichung (17) durch ein Zeitintervall Δt_B voneinander getrennt sind.

$$\Delta t_B = t_{B(j+1)} - t_{Bj} \quad \text{für } j = 1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

Hierzu wird in Verfahrensschritt S20 der zeitdiskrete Verlauf der komplexen Summenimpulsantwort $\underline{h}_{SFNj}(t)$ und $\underline{h}_{SFN(j+1)}(t)$ jeweils zu den Beobachtungszeitpunkten t_j und t_{j+1} ermittelt.

Analog wird in Verfahrensschritt S30 aus den zeitdiskreten Verläufen der komplexen Summenimpulsantworten $\underline{h}_{SFNj}(t)$ und $\underline{h}_{SFN(j+1)}(t)$ die zeitdiskreten Verläufe der komplexen Impulsantworten $\underline{h}_{SFNji}(t)$ und $\underline{h}_{SFN(j+1)i}(t)$ des jeweiligen Senders S_i zu den Zeitpunkten t_j und t_{j+1} ausgeblendet.

35

Schließlich werden in Verfahrensschritt S40 aus den zeitdiskreten Verläufen der komplexen Impulsantworten $\underline{h}_{SFNji}(t)$ und $\underline{h}_{SFN(j+1)i}(t)$ die Phasenverläufe $\arg(\underline{h}_{SFNji}(t))$ und

$\arg(h_{\text{SFN}(j+1)i}(t))$ des Senders S_i zu den Zeitpunkten t_j und t_{j+1} ermittelt.

Die Subtraktion des Phasenverlaufs $\arg(h_{\text{SFN}ji}(t))$ vom
 5 Phasenverlauf $\arg(h_{\text{SFN}(j+1)i}(t))$ in Verfahrensschritt S50
 führt zur Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ der
 Phasenverschiebung des jeweiligen Senders S_i zum
 Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten $t_{B(j+1)}$ und t_{Bj} , die
 der Differenz der Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)})$ zum
 10 Zeitpunkt $t_{B(j+1)}$ und der Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t_{Bj})$ zum
 Zeitpunkt t_{Bj} des Senders S_i zum Bezugssender S_0 entspricht.

Die Begrenzung der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ der Phasenverschiebung des jeweiligen Senders S_i zum
 15 Bezugssender S_0 zwischen den Zeitpunkten $t_{B(j+1)}$ und t_{Bj} auf
 den zulässigen Wertebereich zwischen $-\pi$ und $+\pi$ erfolgt in
 den Verfahrensschritten S60 und S65.

Im Verfahrensschritt S70 wird aus der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ der Phasenverschiebung des
 20 jeweiligen Senders S_i zum Bezugssender S_0 zwischen den
 Zeitpunkten $t_{B(j+1)}$ und t_{Bj} die Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_{ij}$
 des Senders S_i basierend auf der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ der Phasenverschiebung zu den
 25 Beobachtungszeitpunkten t_j und t_{j+1} berechnet.

Die Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_{ij}$ des Senders S_i zum
 Bezugssender S_0 auf der Basis der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ der Phasenverschiebung zu den
 30 Beobachtungszeitpunkten t_j und t_{j+1} wird zu unterschiedlichen Beobachtungszeitpunkten t_j und t_{j+1} insgesamt
 j_{\max} -mal wiederholt ermittelt und berechnet.

Die insgesamt j_{\max} berechneten Trägerfrequenzverschiebungen
 35 $\Delta\omega_{ij}$ des Senders S_i zum Bezugssender S_0 werden anschließend
 im Verfahrensschritt S80 einer Mittelung zugeführt, um den
 Einfluß der obengenannten Phasenstörungen, beispielsweise
 aufgrund von Phasenrauschen, auf die

Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ zu beseitigen bzw. zu minimieren.

Die Mittelung kann auch in Form einer Pipeline-Struktur erfolgen, bei der der jeweils älteste Wert verworfen wird. Eine Speicher-sparende Variante ist eine rekursive Mittelung.

Ein beispielhafter Verlauf einer derart von Phasenstörungen bereinigten Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ eines Senders S_i zu einem Bezugssender S_0 ist in Fig. 5B dargestellt.

Eine Vorrichtung zur Überwachung der Trägerfrequenzstabilität von mehreren Sendern in einem Gleichwellennetz ist in Fig. 1 dargestellt.

Das Gleichwellennetz in Fig. 1 besteht beispielsweise aus den fünf Sendern S_1 , S_2 , S_3 , S_4 und S_5 . Die Sendesignale der Sender S_1 bis S_5 werden von einer Empfangseinrichtung E empfangen. Die Empfangseinrichtung E ist mit einer elektronischen Datenverarbeitungseinheit 1 verbunden. In einer Einheit 11 zur Ermittlung der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals wird auf der Basis der von der Empfangseinrichtung E empfangenen Sendesignale der Sender S_1 bis S_5 die Übertragungsfunktion $H_{SFN}(f)$ des Übertragungskanals von den Sendern S_1 bis S_5 zur Empfangseinrichtung E ermittelt. Hierbei bedient man sich der Koeffizienten des in der Empfangseinrichtung E integrierten Entzerrers, die bei einem an den Übertragungskanal abgeglichenen Entzerrer den Koeffizienten der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals entsprechen.

Alternativ kann die Übertragungsfunktion $H_{SFN}(f)$ des Übertragungskanals von den Sendern S_1 bis S_5 zur Empfangseinrichtung E aus den verstreuten Pilotenträgern eines DVB-T-Signals beim digitalen terrestrischen TV-Rundfunks unter Umgehung der Einheit 11 ermittelt werden.

In einer sich anschließenden Einheit 12 zur Durchführung der inversen Fourier-Transformation werden aus der Übertragungsfunktion $H_{\text{SFN}}(f)$ des Übertragungskanals die zeitdiskreten Verläufe der komplexen Summenimpulsantworten $\underline{h}_{\text{SFN}j}(t)$ und $\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)}(t)$ zu den Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$ berechnet.

In einer sich anschließenden Einheit 13 zur Ausblendung der Impulsantwort für jeden Sender aus der Summenimpulsantwort werden aus den zeitdiskreten Verläufen der komplexen Summenimpulsantworten $\underline{h}_{\text{SFN}j}(t)$ und $\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)}(t)$ die zeitdiskreten Verläufe der komplexen Impulsantworten $\underline{h}_{\text{SFN}ji}(t)$ und $\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)i}(t)$ für jeden Sender S_i des Gleichwellennetzes zu den Zeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$ ausgeblendet.

In einer sich anschließenden Einheit 14 zur Ermittlung des Phasenverlaufs der Impulsantwort werden aus den zeitdiskreten Verläufen der komplexen Impulsantworten $\underline{h}_{\text{SFN}ji}(t)$ und $\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)i}(t)$ die zeitdiskreten Phasenverläufe $\arg(\underline{h}_{\text{SFN}ji}(t))$ und $\arg(\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)i}(t))$ der Impulsantworten $\underline{h}_{\text{SFN}ji}(t)$ und $\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)i}(t)$ zu den Zeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$ berechnet.

In einer sich anschließenden Einheit 15 zur Berechnung der Differenz der Phasenverschiebungen und der Trägerfrequenzverschiebung jedes Senders zur Trägerfrequenz eines Bezugssenders werden aus den zeitdiskreten Phasenverläufen $\arg(\underline{h}_{\text{SFN}ji}(t))$ und $\arg(\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)i}(t))$ der Impulsantworten $\underline{h}_{\text{SFN}ji}(t)$ und $\underline{h}_{\text{SFN}(j+1)i}(t)$ zu den Zeitpunkten t_j und t_{j+1} die Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)} - t_{Bj})$ der Phasenverschiebungen eines Senders S_i zu einem Bezugssender S_0 zu den Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$ berechnet, die der Differenz der Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t_{Bj})$ und $\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)})$ des Senders S_i zum Bezugssender S_0 zu den Zeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$ entspricht, und darauf aufbauend die Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_{ij}$ für jeden Sender S_i zu einem Bezugssender S_0 auf der Basis einer ermittelten Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)} - t_{Bj})$ der

Phasenverschiebungen zu Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$ abgeleitet.

In einer Einheit 2 der tabellarischen und/oder grafischen Darstellung der Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ aller Sender S_i , die an die elektronische Datenverarbeitungseinheit 1 angeschlossen ist, werden die Trägerfrequenzverschiebungen $\Delta\omega_i$ jedes Senders S_i zu einem Bezugssender S_0 des Gleichwellennetzes entweder tabellarisch oder grafisch dargestellt.

Hinsichtlich der gleichzeitigen Darstellung der Amplitudenabweichung und der Trägerfrequenzabweichung eines Senders S_i zu einem Bezugssender S_0 zu einem bestimmten Beobachtungszeitpunkt t_{Bi} in einer Grafik bietet sich einerseits eine dreidimensionale Darstellung mit der Zeit t als erste Dimension, der Frequenzabweichung $\Delta\omega_i$ des jeweiligen Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 als zweite Dimension und schließlich der Amplitudenabweichung ΔA_i des jeweiligen Senders S_i zur Amplitude A_0 des Bezugssenders S_0 als dritte Dimension an. Wird der Bezugssender S_0 normiert auf seine Amplitude A_0 zum Zeitpunkt $t=0$ in die dreidimensionale Grafik gesetzt, so wird entsprechend Fig. 6A jeder Sender S_i entsprechend der jeweiligen Amplituden- und Trägerfrequenzabweichung ΔA_i und $\Delta\omega_i$ durch einen Punkt in der Grafik repräsentiert. Andererseits wird bei einer zweidimensionalen Darstellung gemäß Fig. 6B die Zeit t in der Abszisse und die Amplitudenabweichung ΔA_i des jeweiligen Senders S_i zur Amplitude A_0 des Bezugssenders S_0 auf der Ordinate aufgetragen, während die Trägerfrequenzabweichung $\Delta\omega_i$ des jeweiligen Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 durch einen zur Trägerfrequenzabweichung $\Delta\omega_i$ korrespondierendes Symbol des zum jeweiligen Sender S_i gehörigen Punktes charakterisiert wird. Wiederum wird die Amplitude A_0 des Bezugssenders S_0 zum Zeitpunkt $t=0$ in die Grafik eingetragen.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Insbesondere sind alle beschriebenen Merkmale beliebig miteinander kombinierbar. Auch eignet sich das beschriebene Verfahren

5 nicht nur für Signale des DAB- oder DVB-T-Standards, sondern für alle Standards, die SFN ermöglichen, insbesondere auch für Signale des amerikanischen ATSC-Standards.

Ansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz (ω_i) von identischen Sendesignalen ($s_i(t)$)
 5 mehrerer Sender ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$) eines Gleichwellennetzes durch Auswerten der Phasenlage eines zu einem Sendesignal ($s_i(t)$) eines Senders (S_i) gehörigen Empfangssignals ($e_i(t)$) in Bezug zu einem Empfangssignal ($e_0(t)$) eines Bezugssenders (S_0), die beide von einer im Sendegebiet des
 10 Gleichwellennetzes positionierten Empfangseinrichtung (E) empfangen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
gekennzeichnet durch
 15 Berechnung (S70) einer Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) einer Trägerfrequenz (ω_i) eines Senders (S_i) bezüglich einer Referenz-Trägerfrequenz (ω_0) des Bezugssenders (S_0) aus einer durch die Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) dieses Senders hervorgerufenen Phasenverschiebungs-
 20 differenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$) zwischen einer Phasenverschiebung ($\Delta\Theta_i(t_{B2})$) zu zumindest einem zweiten Beobachtungszeitpunkt (t_{B2}) und einer Phasenverschiebung ($\Delta\Theta_i(t_{B1})$) zu einem ersten Beobachtungszeitpunkt (t_{B1}) eines zum Sendesignal ($s_i(t)$) gehörigen Empfangssignals ($e_i(t)$) dieses Senders
 25 (S_i) in Bezug zu einem zum Sendesignal ($s_0(t)$) gehörigen Empfangssignal ($e_0(t)$) des Bezugssenders (S_0).

3. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz nach Anspruch 2,
 30 **dadurch gekennzeichnet,**

daß der Berechnung (S70) der Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) der Trägerfrequenz (ω_i) des Senders (S_i) zur Trägerfrequenz (ω_0) des Bezugssenders (S_0) aus der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$) die folgenden Ver-
 35 fahrensschritte vorausgehen:

- Ermittlung (S10) einer Übertragungsfunktion ($H_{SFN}(f)$) des Übertragungskanals von den Sendern ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$) zur Empfangseinrichtung (E),

- Berechnung (S20) eines Verlaufs einer komplexen zeitdiskreten Summenimpulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN1}}(t)$) zum ersten Beobachtungszeitpunkt (t_{B1}) und eines Verlaufs einer komplexen zeitdiskreten Summenimpulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN2}}(t)$) zum zweiten Beobachtungszeitpunkt (t_{B2}) des Übertragungskanals jeweils aus der Übertragungsfunktion ($H_{\text{SFN}}(f)$) des Übertragungskanals,
- Ausblendung (S30) eines Verlaufs einer komplexen Impulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN1i}}(t)$) zum ersten Beobachtungszeitpunkt (t_{B1}) und eines Verlaufs einer komplexen Impulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN2i}}(t)$) zum zweiten Beobachtungszeitpunkt (t_{B2}) für jeden Sender (S_i) des Gleichwellennetzes jeweils aus dem Verlauf der komplexen Summenimpulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN1}}(t)$) zum ersten Beobachtungszeitpunkt (t_{B1}) und aus dem Verlauf der komplexen Summenimpulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN2}}(t)$) zum zweiten Beobachtungszeitpunkt (t_{B2}),
- Ermittlung (S40) eines Phasenverlaufs ($\arg(\underline{h}_{\text{SFN1i}}(t))$) der komplexen Impulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN1i}}(t)$) zum ersten Beobachtungszeitpunkt (t_{B1}) und eines Phasenverlaufs ($\arg(\underline{h}_{\text{SFN2i}}(t))$) der komplexen Impulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN2i}}(t)$) zum zweiten Beobachtungszeitpunkt (t_{B2}) für jeden Sender (S_i) des Gleichwellennetzes,
- Berechnung (S50) der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{\text{B2}}-t_{\text{B1}})$) zwischen einer Phasenverschiebung ($\Delta\Theta_i(t_{\text{B2}})$) zum zweiten Beobachtungszeitpunkt (t_{B2}) und einer Phasenverschiebung ($\Delta\Theta_i(t_{\text{B1}})$) zum ersten Beobachtungszeitpunkt (t_{B1}) durch Subtraktion eines Phasenverlaufs ($\arg(\underline{h}_{\text{SFN1i}}(t))$) der komplexen Impulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN1i}}(t)$) zum ersten Beobachtungszeitpunkt (t_{B1}) von einem Phasenverlauf ($\arg(\underline{h}_{\text{SFN2i}}(t))$) der komplexen Impulsantwort ($\underline{h}_{\text{SFN2i}}(t)$) zum zweiten Beobachtungszeitpunkt (t_{B2}) des jeweiligen Senders (S_i).

4. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz nach Anspruch 3,

gekennzeichnet durch

- Erhöhen (S60) der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{\text{B2}}-t_{\text{B1}})$) um den Faktor 2π im Falle eines Absinkens

der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$) auf oder unter den Wert $-\pi$ und

- Reduzieren (S65) der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$) um den Faktor $-2*\pi$ im Falle einer Erhöhung
- 5 der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$) über den Wert π .

5. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz nach Anspruch 3 oder 4,

10 **dadurch gekennzeichnet,**

daß beim digitalen terrestrischen TV-Rundfunk die Übertragungsfunktion des Übertragungskanals von den Sendern ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$) zur Empfangseinrichtung (E) aus den DVB-T-Symbolen von verstreuten Pilotträgern der nach dem orthogonal-frequency-division-multiplexing-(OFDM)-Verfahren modulierten Empfangssignale ($e_i(t)$) der Sender ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$) ermittelt wird.

15

6. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz nach Anspruch 3,

20

dadurch gekennzeichnet,

daß sich die Berechnung (S20) eines Verlaufs einer komplexen zeitdiskreten Summenimpulsantwort $h_{SFN1/2}(t)$ zum diskreten ersten Beobachtungszeitpunkt t_{B1} des Übertragungskanals aus der Übertragungsfunktion $H_{SFN}(f)$ des Übertragungskanals mit Hilfe der Fourier-Transformation entsprechend der Formel

25

$$h_{SFN1/2}(t) = \sum_{k=0}^{N_F-1} H_{SFN}(k) * e^{j2\pi k t / N_F}$$

30

ergibt,

wobei

$H_{SFN}(f)$

die Übertragungsfunktion bzw. der Frequenzgang des Übertragungskanals,

35

N_F

die Anzahl der Abtastwerte für die diskrete Fourier-Transformation,

k

die diskreten Frequenzwerte,

t die Abtastzeitpunkte der zeitdiskreten
 Summenimpulsantwort des Übertragungs-
 kanals und
 1/2 der Index für den Beobachtungszeit-
 5 punkt t_{B1} bzw. t_{B2}
 bedeuten.

7. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der
 Trägerfrequenz nach Anspruch 6,
 10 **dadurch gekennzeichnet**,
 daß sich die Berechnung (S50) der Phasenverschiebungs-
 differenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ für jeden Sender S_i des
 Gleichwellennetzes entsprechend der Formel

15 $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) = \arg(h_{\text{SFN2}i}(t)) - \arg(h_{\text{SFN1}i}(t))$
 ergibt,
 wobei

i der Index für den Sender S_i ,
 $\arg(h_{\text{SFN2}i}(t))$ der Phasenverlauf der komplexen
 Impulsantwort $h_{\text{SFN2}i}(t)$ zum Be-
 20 obachtungszeitpunkt t_{B2} des
 Senders S_i und
 $\arg(h_{\text{SFN1}i}(t))$ der Phasenverlauf der komplexen
 Impulsantwort $h_{\text{SFN1}i}(t)$ zum Be-
 25 obachtungszeitpunkt t_{B1} des
 Senders S_i
 bedeuten.

8. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der
 Trägerfrequenz nach Anspruch 7,
 30 **dadurch gekennzeichnet**,
 daß sich die Berechnung (S70) der Trägerfrequenzver-
 schiebung $\Delta\omega_i$ des Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des
 Bezugssenders des Gleichwellennetzes entsprechend der
 Formel

35 $\Delta\omega_i = \Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1}) / (t_{B2}-t_{B1})$
 ergibt,
 wobei

i der Index für den Sender S_i ,

$\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$ die Phasenlagendifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B2}-t_{B1})$
für den Sender S_i des Gleichwellen-
netzes und
 t_{B1}, t_{B2} die Beobachtungszeitpunkte

5 bedeuten.

9. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der
Trägerfrequenz nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet,

10 daß zur eindeutigen Identifizierung der dauerhaften
Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_i$ des Senders S_i im Gleich-
wellennetz zu der Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 zu
mehreren Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} die Verfahrensschritte

• Berechnung (S20) des Verlaufs der komplexen zeit-
15 diskreten Summenimpulsantwort $\underline{h}_{SFNj}(t)$ und $\underline{h}_{SFN(j+1)}(t)$ zu den
Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$,

• Ausblendung (S30) des Verlaufs der komplexen Impuls-
antwort $\underline{h}_{SFNji}(t)$ und $\underline{h}_{SFN(j+1)i}(t)$ zu den Beobachtungs-
zeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$ für jeden Sender S_i des

20 Gleichwellennetzes,

• Ermittlung (S40) der Phasenverläufe $\arg(\underline{h}_{SFNji}(t))$ und
 $\arg(\underline{h}_{SFN(j+1)i}(t))$ der komplexen Impulsantworten $\underline{h}_{SFNji}(t)$ und
 $\underline{h}_{SFN(j+1)i}(t)$ zu den Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} und $t_{B(j+1)}$,

• Berechnung (S50) des Phasenverschiebungsdifferenz
25 $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ zwischen der Phasenverschiebung $\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)})$
zum Beobachtungszeitpunkt $t_{B(j+1)}$ und der Phasenverschiebung
 $\Delta\Theta_i(t_{Bj})$ zum Beobachtungszeitpunkt t_{Bj} für jeden Sender S_i
des Gleichwellennetzes,

• Erhöhung (S60) der Phasenverschiebungsdifferenz
30 $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ um den Faktor $2*\pi$ im Falle eines Absinkens
der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ auf oder
unter den Wert $-\pi$,

• Reduzierung (S65) der Phasenverschiebungsdifferenz
 $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ um den Faktor $-2*\pi$ im Falle einer Erhöhung
35 der Phasenverschiebungsdifferenz $\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)}-t_{Bj})$ über den
Wert π und

• Berechnung (S70) der Trägerfrequenzverschiebung $\Delta\omega_{ij}$
des Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders des
Gleichwellennetzes zu mehreren Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} ,

wiederholt durchgeführt werden und anschließend eine Mittelung (S80) aller im Verfahrensschritt (S70) jeweils berechneten Trägerfrequenzverschiebungen $\Delta\omega_{ij}$ jedes Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 des Bezugssenders S_0 des Gleichwellennetzes zu den Beobachtungszeitpunkten t_{Bj} erfolgt.

10. Verfahren zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz nach Anspruch 9,
 10 **dadurch gekennzeichnet,**
 daß die Mittelung (S80) aller im Verfahrensschritt (S70) berechneten Trägerfrequenzverschiebungen $\Delta\omega_{ij}$ jedes Senders S_i zur Trägerfrequenz ω_0 eines Bezugssenders S_0 des Gleichwellennetzes mit Hilfe eines rekursiven Verfahrens
 15 erfolgt.

11. Vorrichtung zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz (ω_i) von identischen Sendesignalen $s_i(t)$ mehrerer Sender ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$) eines Gleichwellennetzes
 20 mit:

- einer Empfangseinrichtung (E),
- einer Einheit (11) zur Ermittlung einer Übertragungsfunktion ($H_{SFN}(f)$) eines Übertragungskanals von mehreren Sendern ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$) des Gleichwellennetzes zu der
 25 innerhalb des Sendegebietes des Gleichwellennetzes befindlichen Empfangseinrichtung (E),
- einer Einheit (12) zur Durchführung einer inversen Fourier-Transformation,
- einer Einheit (13) zur Ausblendung einer
 30 Impulsantwort ($\underline{h}_{SFNi}(t)$) für jeden Sender (S_i) aus der Summenimpulsantwort ($\underline{h}_{SFN}(t)$),
- einer Einheit (14) zur Ermittlung des Phasenverlaufs ($\arg(\underline{h}_{SFNi}(t))$) der Impulsantwort ($\underline{h}_{SFNi}(t)$) für jeden Sender (S_i),
- 35 • einer Einheit (15) zur Berechnung der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)} - t_{Bj})$) der Phasenverschiebung ($\Delta\Theta_i$) eines Senders (S_i) zu einem Bezugssender (S_0) zu zumindest zwei verschiedenen Zeitpunkten ($(t_{Bj}, t_{B(j+1)})$) und

der Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) jedes Senders (S_i) zur Trägerfrequenz (ω_0) des Bezugssenders (S_0) und

- einer Einheit (2) zur Darstellung der berechneten Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) jedes Senders (S_i) zur Trägerfrequenz (ω_0) des Bezugssenders (S_0) des Gleichwellennetzes.

12. Vorrichtung zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz (ω_i) von identischen Sendesignalen $s_i(t)$ mehrerer Sender ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$) eines Gleichwellennetzes mit:

- einer Empfangseinrichtung (E),
- einer Einheit (16) zur Ermittlung einer Übertragungsfunktion ($H_{SPN}(f)$) aus Pilotträgern der Empfangssignale ($e_i(t)$),
- einer Einheit (13) zur Ausblendung einer Impulsantwort ($\underline{h}_{SPNi}(t)$) für jeden Sender (S_i) aus der Summenimpulsantwort ($\underline{h}_{SPN}(t)$),
- einer Einheit (14) zur Ermittlung des Phasenverlaufs ($\arg(\underline{h}_{SPNi}(t))$) der Impulsantwort ($\underline{h}_{SPNi}(t)$) für jeden Sender (S_i),
- einer Einheit (15) zur Berechnung der Phasenverschiebungsdifferenz ($\Delta\Delta\Theta_i(t_{B(j+1)} - t_{Bj})$) der Phasenverschiebung ($\Delta\Theta_i$) eines Senders (S_i) zu einem Bezugssender (S_0) zu zumindest zwei verschiedenen Zeitpunkten ($(t_{Bj}, t_{B(j+1)})$) und der Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) jedes Senders (S_i) zur Trägerfrequenz (ω_0) des Bezugssenders (S_0) und
- einer Einheit (2) zur Darstellung der berechneten Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) jedes Senders (S_i) zur Trägerfrequenz (ω_0) des Bezugssenders (S_0) des Gleichwellennetzes.

13. Vorrichtung zur Überwachung der Stabilität der Trägerfrequenz nach Anspruch 11 oder 12,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Einheit (2) zur Darstellung der berechneten Trägerfrequenzverschiebung ($\Delta\omega_i$) jedes Senders (S_i) zur Trägerfrequenz (ω_0) des Bezugssenders (S_0) eine

tabellarische und/oder grafische Darstellungseinrichtung
aufweist.

1/6

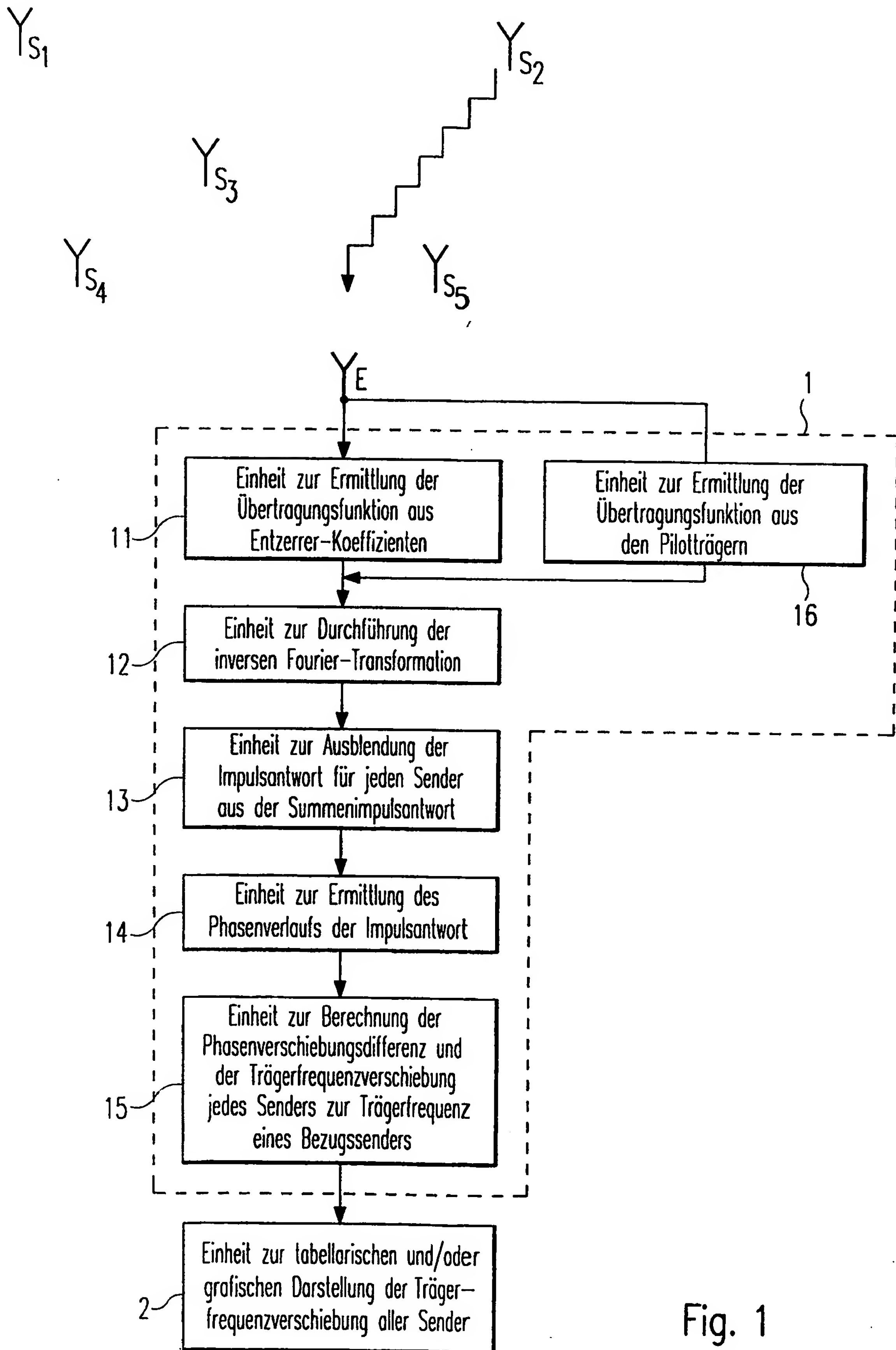


Fig. 1

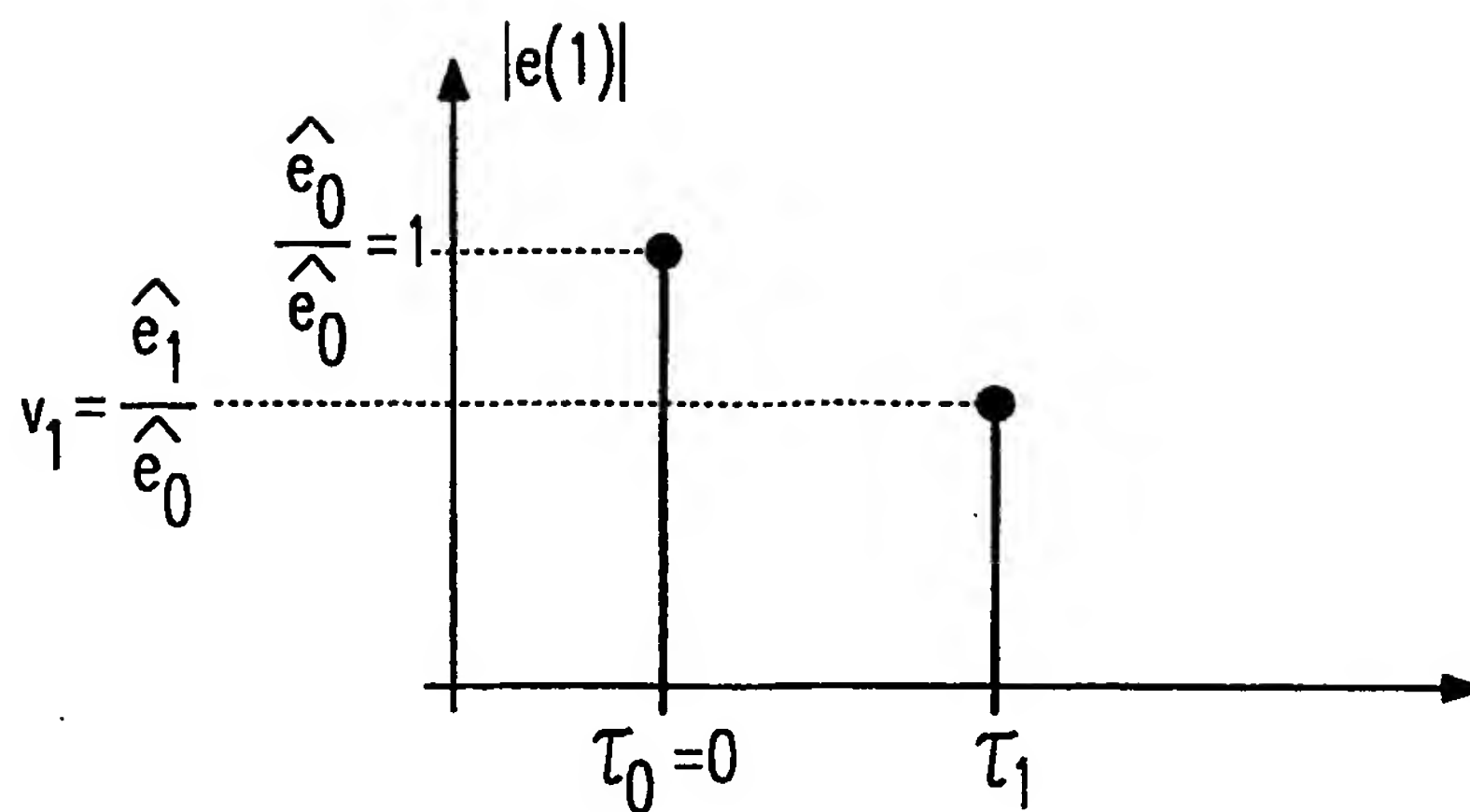


Fig. 2

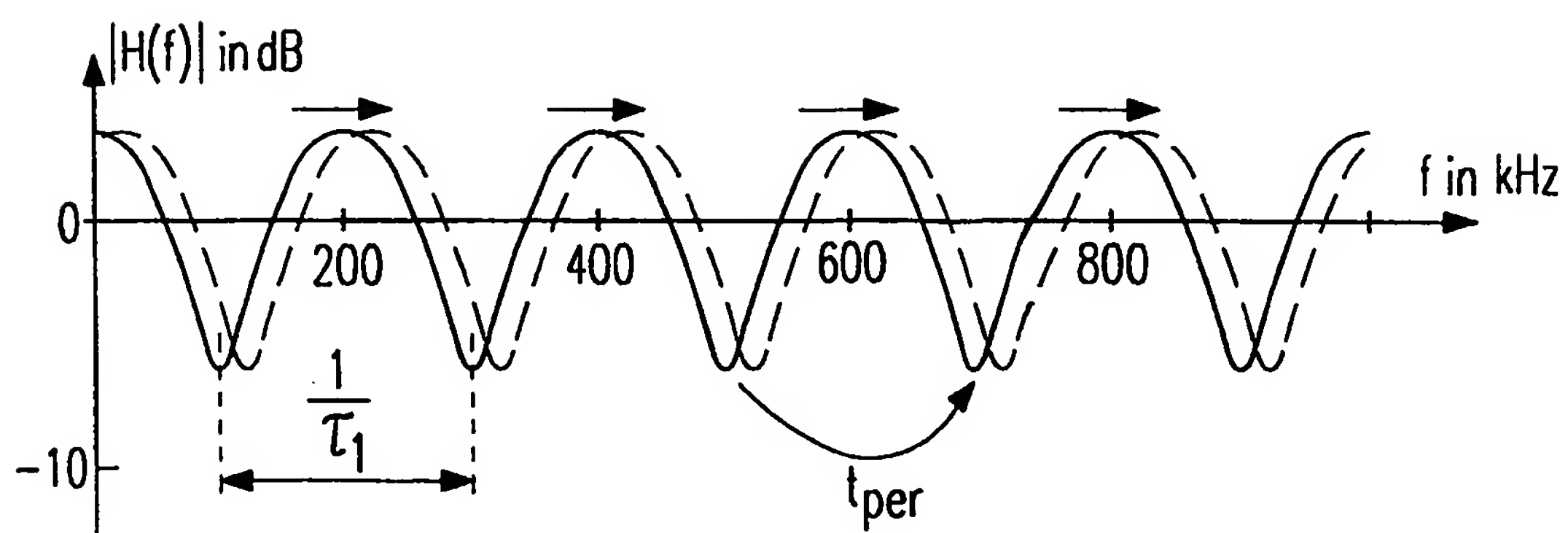


Fig. 3

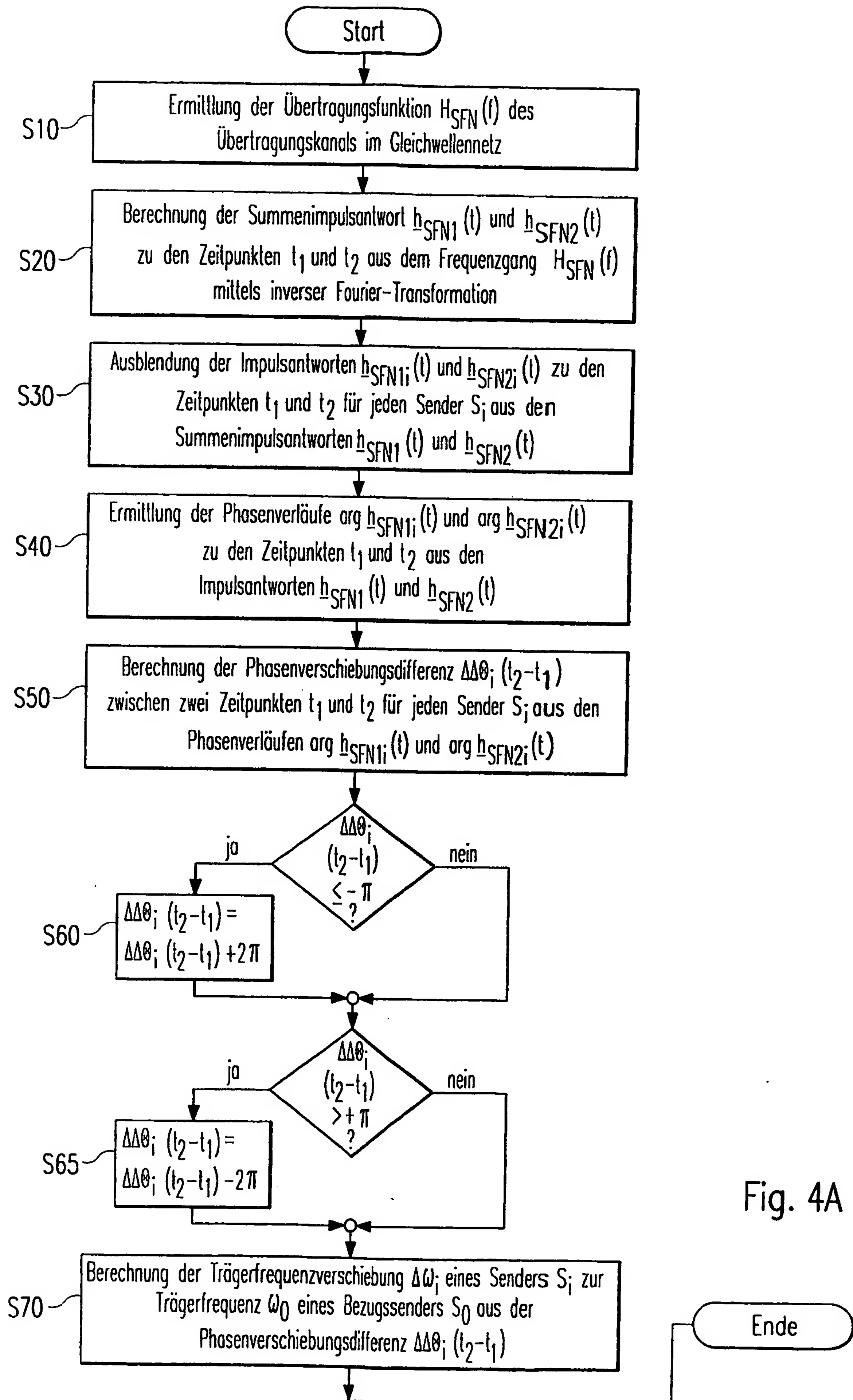


Fig. 4A

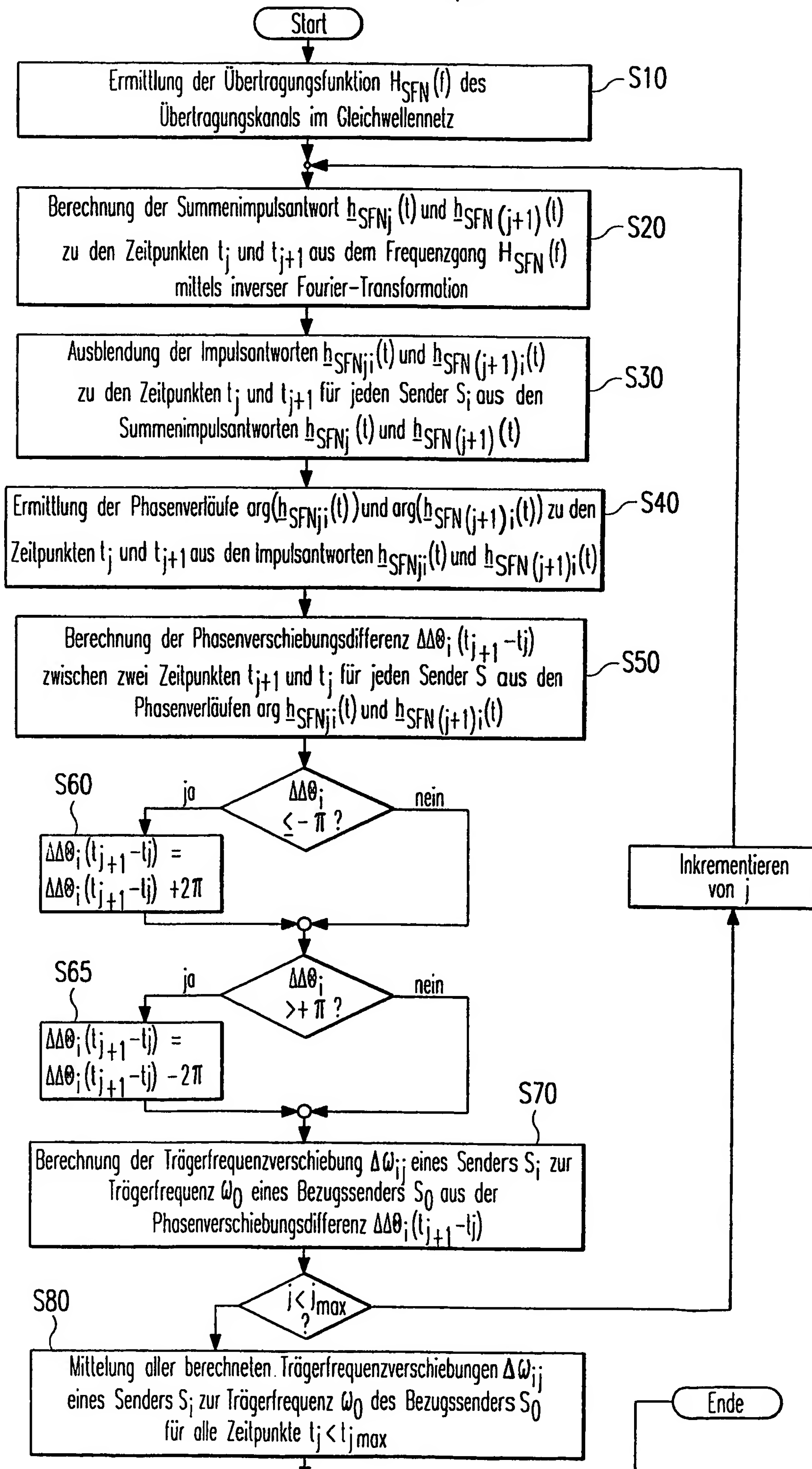
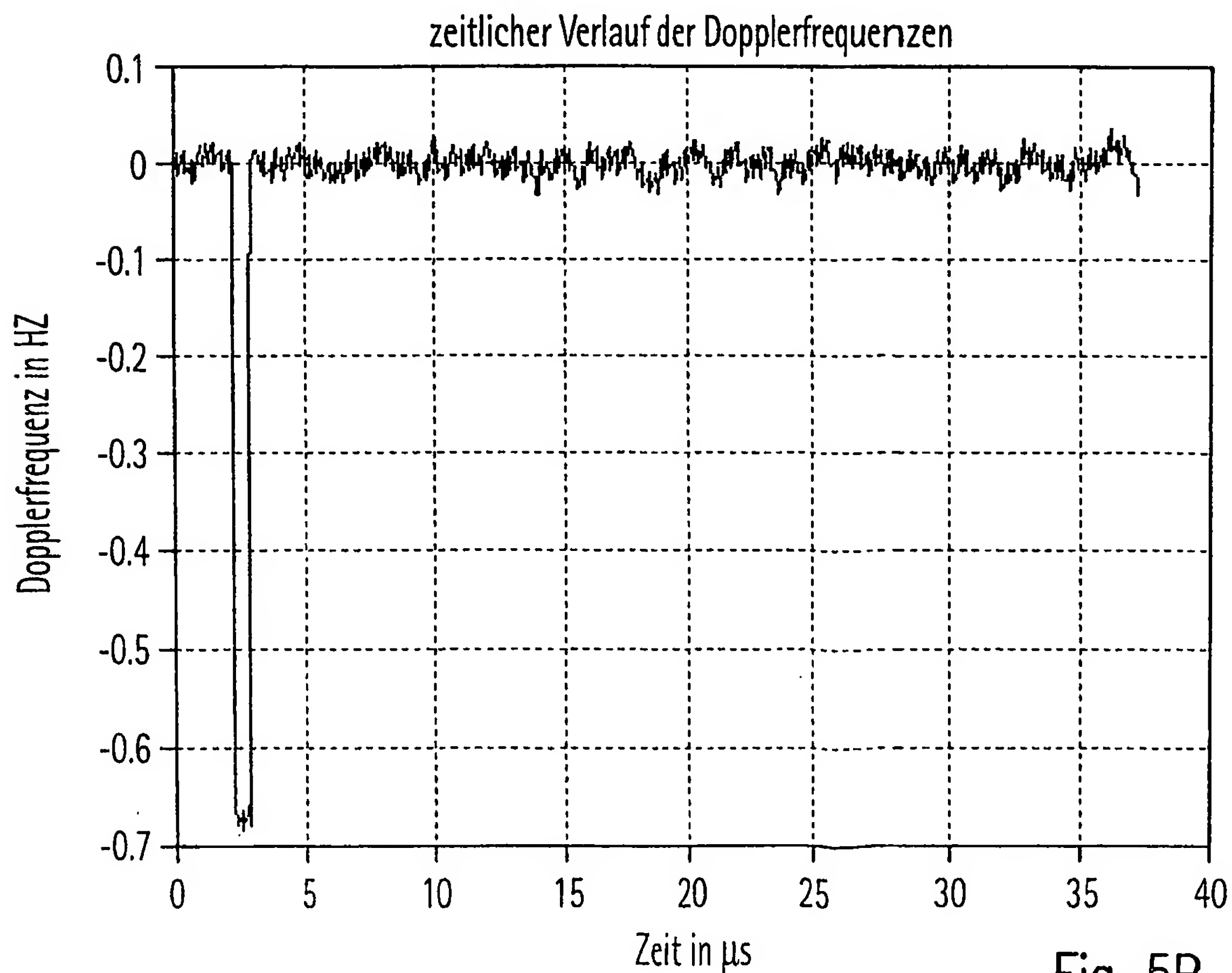
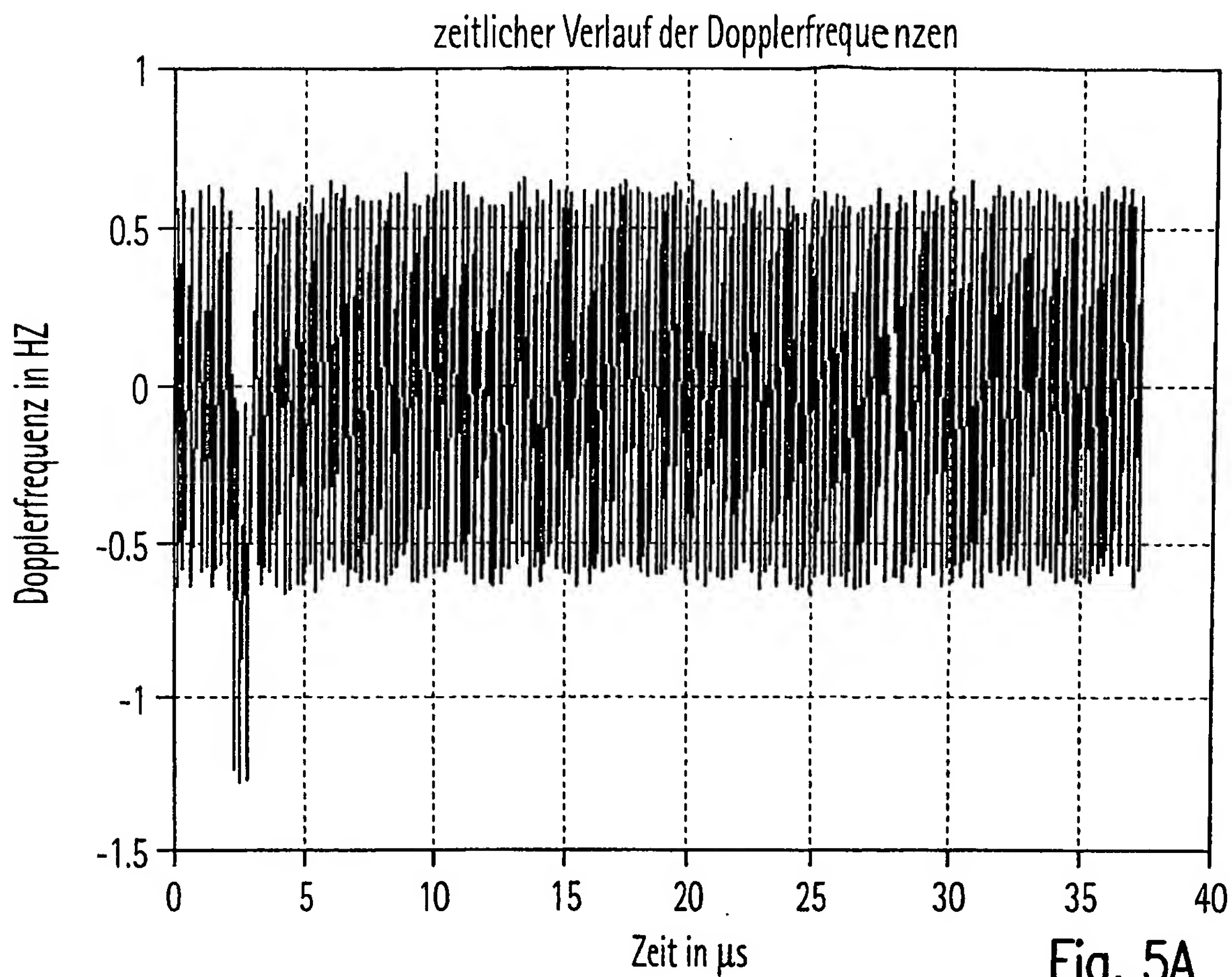


Fig. 4B

5/6



6/6

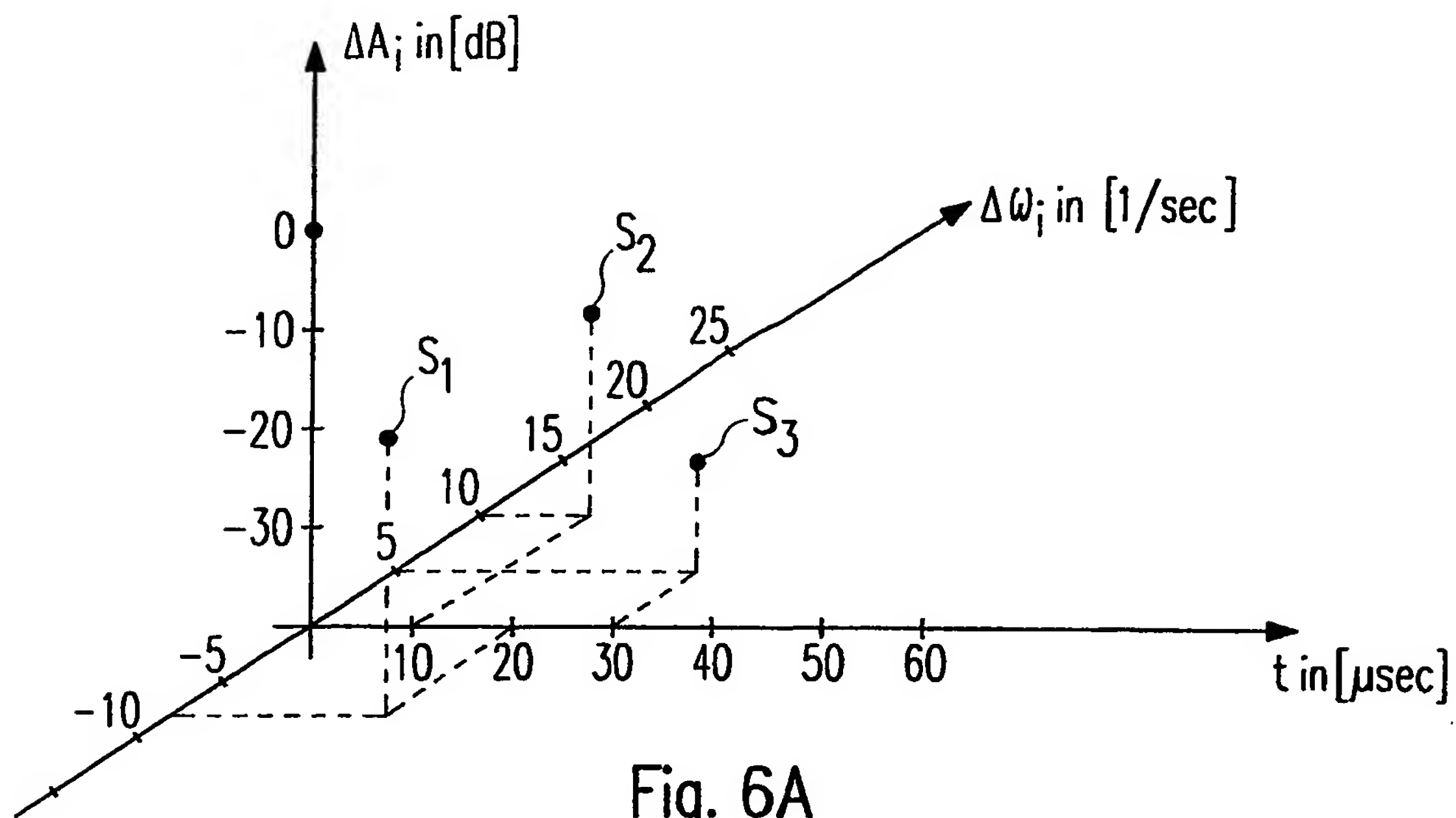


Fig. 6A

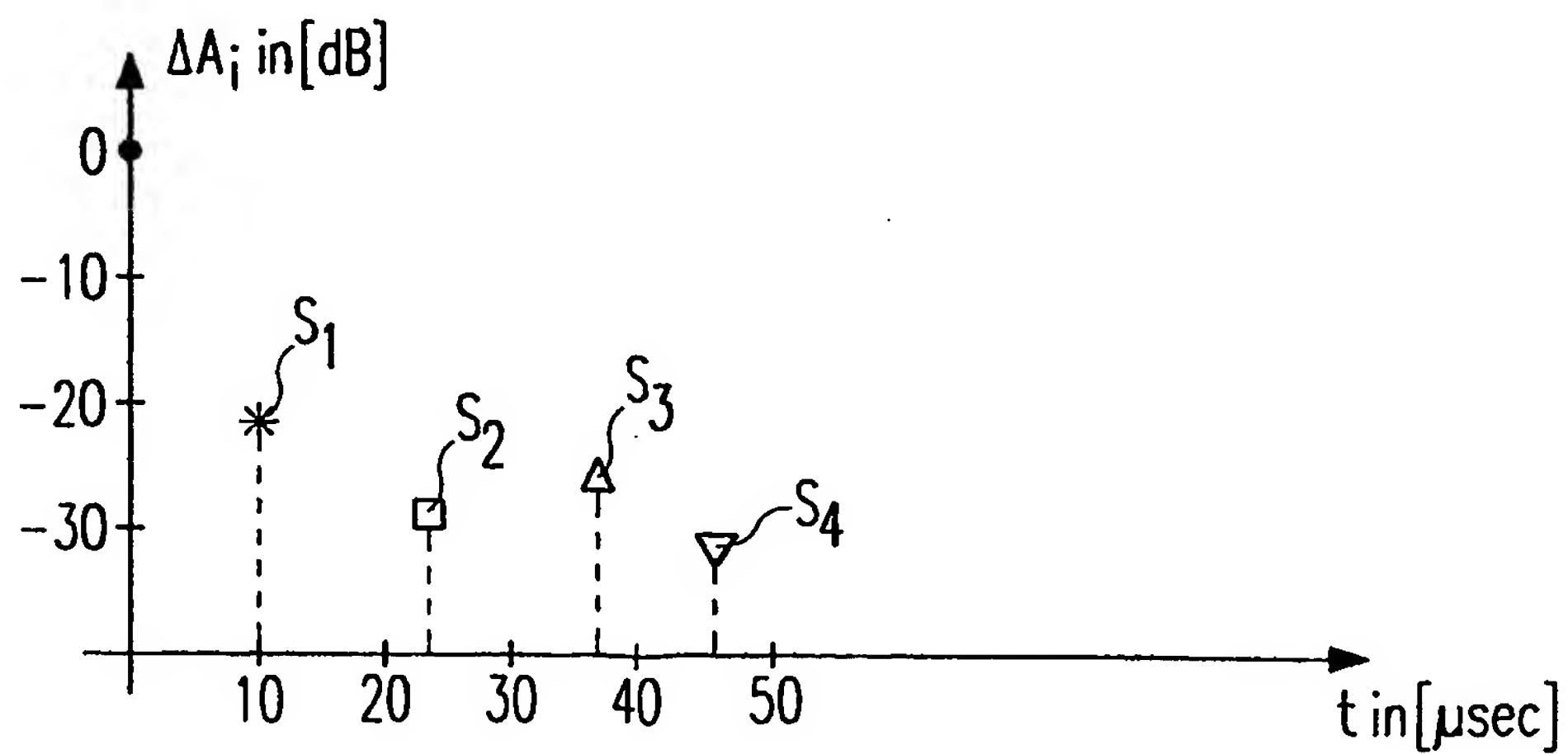


Fig. 6B